

# Búsqueda de Fuentes Puntuales con el Telescopio de Neutrinos ANTARES

E. Carmona<sup>1</sup>, J.A. Aguilar<sup>1</sup>, J.J. Hernández<sup>1</sup>, J.D. Zornoza<sup>1</sup>, J. Zúñiga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IFIC - Instituto de Física Corpuscular. CSIC – U. de Valencia. Apdo. 22085, E-46071 Valencia

## I. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo del experimento ANTARES es la detección de neutrinos de alta energía ( $E_\nu > 100$  GeV) procedentes de fuentes astronómicas. Los procesos que pueden dar lugar a su producción son algunos de los más violentos del Universo y tienen lugar en objetos como los Núcleos Galácticos Activos (AGNs), las explosiones de Rayos Gamma (GRBs), etc. El estudio de estas fuentes a través de los neutrinos permitirá estudiar su interior y conocer mejor los procesos que allí tienen lugar. Así mismo, la astronomía de neutrinos abrirá una nueva ventana al Cosmos que permitirá la observación de fuentes no visibles con otros instrumentos.

Desde la Tierra, el tamaño de los aceleradores que produzcan neutrinos de alta energía es puntual. Si un emisor es suficientemente luminoso, éste aparecerá claramente distinguible sobre el fondo de neutrinos procedente de todas las otras fuentes distribuidas por todo el Universo. La búsqueda de fuentes puntuales es, por tanto, la búsqueda de un exceso de señal sobre un fondo aleatoriamente distribuido. Sin embargo, según los modelos teóricos actuales, el número de neutrinos esperados en un detector de  $0.1 \text{ km}^2$  es pequeño. Esto hace necesario la utilización de métodos sofisticados para estas búsquedas.

En este trabajo presentamos los estudios que hemos realizado a nivel de Monte Carlo y los resultados obtenidos en términos de las posibilidades del detector ANTARES para la detección de fuentes puntuales de neutrinos de altas energías. Las muestras Monte Carlo que se han utilizado representan los datos tomados por el detector con 10 líneas tras 1 año de funcionamiento.

## II. METODOS DE *BINNING*

Uno de las técnicas más utilizadas<sup>12</sup> para las búsquedas de señal sobre el fondo son los métodos de *binning*. Estos métodos utilizan típicamente una cuadrícula (*grid*) para dividir el cielo visible y, posteriormente, buscar uno o varios bins donde haya un claro exceso. Además de este método, hemos utilizado una técnica similar (*cluster*) que consiste en hacer conos de un cierto radio alrededor de cada suceso. De esta manera se puede contabilizar el número de sucesos en cada uno de los conos y buscar así un exceso en alguno de ellos. Estas dos técnicas son complementarias en el caso de búsqueda de fuentes puntuales y permiten además establecer límites en los flujos cuando no se observa ninguna fuente.

Previamente a la utilización de las técnicas de búsqueda, es preciso optimizar el tamaño de los *bines* o *clusters* usados. En el caso de la técnica de *grid* hemos utilizado una cuadrícula tal que el número de sucesos de fondo es el mismo en cada *bin*, independientemente de la declinación. El tamaño de estos *bines* ha sido optimizado independientemente para la búsqueda de las fuentes puntuales y para los límites de los flujos. En cuanto al *cluster*, también se ha optimizado el tamaño de los conos independientemente para las búsquedas ( $0.4^\circ$ ) y para los límites ( $1.0^\circ$ ).

### III. BÚSQUEDA DE FUENTES PUNTUALES

En principio, todas las posiciones en el cielo son igualmente probables y la fuente puede estar situada en cualquier lugar. Así mismo, el fondo está distribuido aleatoriamente en todo el cielo de manera que ocasionalmente puede provocar un exceso significativo del número de sucesos en uno de los *clusters* o *bines*. Para protegerse de las fluctuaciones aleatorias del fondo, definimos unos umbrales basados en las probabilidades calculadas analíticamente de que el fondo dé el número observado de sucesos. Estas probabilidades son calculadas a partir de una distribución binomial basada en el número de sucesos observados en la muestra que se maneja (equivalente a un año de toma de datos).

Utilizando los sucesos generados mediante Monte Carlo y tras la simulación y reconstrucción, creamos 1000 resultados de experimentos tras un año de toma de datos. Entonces buscamos una fuente que se ha introducido para comprobar la eficacia de la búsqueda. En la tabla 1, se puede ver el porcentaje de éxito de la búsqueda usando tres umbrales equivalentes a  $4\sigma$ ,  $5\sigma$  y  $6\sigma$ . También se presenta la probabilidad de que el fondo supere el umbral en uno cualquiera de los *bines* o *clusters* ( $N_v=0$ ). La fuente ha sido introducida en el centro de la Galaxia ( $d=-28.93^\circ$ ,  $AR=266.50^\circ$ ).

Tabla 1. Potencial de descubrimiento de una fuente en el centro de la Galaxia.

$N_s$	$4\sigma$		$5\sigma$		$6\sigma$	
	Bin	Cluster	Bin	Cluster	Bin	Cluster
0	53.0%	8.3%	1.3%	0%	0%	0%
3	14.1%	2.30%	0.6%	0%	0%	0%
4	63.5%	41.7%	7.1%	2.1%	0%	0%
5	88.9%	72.0%	34.3%	32.5%	0.8%	1.8%
6	97.3%	90.1%	68.0%	63.8%	8.2%	15.6%
8	99.9%	98.9%	96.9%	85.9%	94.1%	67.6%
10	100.0%	99.9%	99.9%	99.3%	96.5%	93.7%

El *grid* es ligeramente más eficaz pero también es más probable que el fondo supere el umbral. Esto es así porque se han combinado los resultados de 4 *grids* ligeramente desplazados para evitar que la fuente pudiera caer entre dos *bines*. Cuando aumenta el número de años de observación a 3 ó 5 años, las probabilidades de encontrar la fuente aumentan rápidamente. Así, para una fuente que emite 3 sucesos/año (promedio), las probabilidades de descubrirla con cualquiera de los dos métodos son del 60% a  $5\sigma$  tras 3 años de observación. Tras 5 años de observación, esa misma probabilidad es del 90%.

### IV. LÍMITES A LOS FLUJOS

Cuando no se observa señal alguna, se obtiene un límite para los flujos no observados. Este límite depende del espectro de emisión de la fuente que es proporcional a  $E^\alpha$ . En la figura 1, se muestran los límites para flujos de neutrinos tras un año de toma de datos, con varios valores de  $\alpha$  entre 2 y 3. Estos límites mejoran cuando aumenta el tiempo total de observación.

#### Referencias

<sup>1</sup> S. M. Yaung, Tesis Doctoral, 2001.

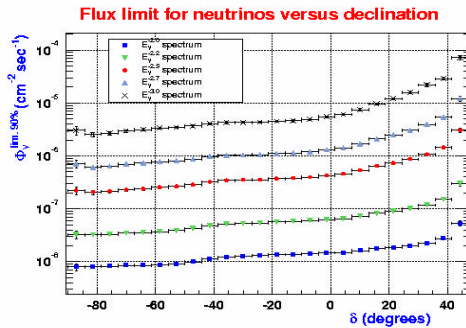


Figura 1. Límites para los flujos de neutrinos en función de la declinación para fuentes que emiten según un espectro  $E^\alpha$  tras un año de observación ( $\alpha=2.0, 2.2, 2.5, 2.7$  y  $3.0$  de abajo a arriba).

<sup>2</sup> A. P. Biron, Tesis Doctoral, 2002.